

ICS XX.XXX
CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

低压低浓度二氧化碳捕集技术工艺包编 制规范

Standardization for low pressure and low concentration carbon dioxide
capture technology package

(征求意见稿)

(在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。)

202□ - □□ - □□发布

202□ - □□ - □□实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

СЛЕДСТВИЕ

目 次

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 技术工艺包内容.....	2
4.1 设计基础.....	2
4.2 工艺说明.....	3
4.3 物料平衡.....	4
4.4 消耗量.....	4
4.5 界区条件表.....	5
4.6 卫生、安全、环保说明.....	5
4.7 分析化验项目表.....	5
4.8 工艺管道及仪表流程图（PID）.....	5
4.9 材料等级表.....	5
4.10 建议的设备布置图及说明.....	6
4.11 工艺设备表.....	6
4.12 工艺设备.....	6
4.13 自控仪表.....	6
4.14 特殊管道.....	7
4.15 有关专利和专有技术文件目录.....	7
4.16 专有设备和专利技术.....	7
5 工艺手册内容.....	7
5.1 工艺说明.....	7
5.2 正常操作控制.....	8
5.3 开车准备工作.....	8
5.4 开车程序.....	8
5.5 正常停车程序.....	8
5.6 事故原因与处理方法.....	8
5.7 原料、化学品及催化剂装卸.....	8
5.8 采样.....	8
5.9 设备检查与维护.....	8

6	分析化验手册	9
7	安全与环保手册	9
7.1	工艺危险因素分析及控制措施	9
7.2	自然灾害、社会危害因素分析	9
7.3	危险源划分与应急救援预案	9
7.4	安全泄放系统说明	9
7.5	环境保护	9
附录 A	(规范性) CO ₂ 捕集能耗计算方法	10
附录 B	(资料性)	12
图 B.1	化学吸收法 CO ₂ 捕集工艺流程图	14
图 B.2	循环流化移动床 CO ₂ 吸附法工艺流程图	14
表 1	危险化学品数据表	9
表 A.1	电、水及耗能工质的统一能源折算值	10
表 A.2	15 万吨/年烟气 CO ₂ 捕集工程公用工程设计消耗	11

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件主要起草单位：中国矿业大学、浙江菲达环保科技股份有限公司、中国科学院山西煤炭化学研究所、中国21世纪议程管理中心、中石化江汉石油工程设计有限公司、中国石油工程建设有限公司北京分公司、华中科技大学、浙江大学、西南石油大学、东南大学、华北电力大学、浙江红狮环保股份有限公司、浙江天洁环境科技股份有限公司、浙江德创环保科技股份有限公司、国能龙源环保有限公司、中钢集团天澄环保科技股份有限公司、张家口宣化昌通环保设备有限公司、武汉凯迪电力环保有限公司、苏州西热节能环保技术有限公司。

本文件主要起草人：陆诗建、刘含笑、张贤、刘玲、李磊、梁艳、杨蒙、刘小伟、郑成航、康国俊、方梦祥、赵琳、陈永东、倪中海、曹景沛、胡运进、杨林军、郝润龙、刘美玲、李春萍、朱佳媚、闫新龙、张田立、赵博、郑妍、王珂、马晓辉、刘方、王国熙、陈意、方朝君、赵飞。

本文件为首次发布。

СЛЕДСТВИЕ

低压低浓度二氧化碳捕集技术工艺包编制规范

1 范围

本文件规定了低压低浓度二氧化碳捕集技术工艺包的技术工艺包内容、工艺手册与分析化验手册。
本文件适用于低压低浓度二氧化碳捕集项目技术工艺包的编制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 50933 石油化工装置设计文件编制标准

GB/T 51316-2018 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准

JB/T 12909-2016 燃煤烟气二氧化碳捕集装备

JB/T 12535 燃煤烟气碳捕集装置调试规范

JB/T 12536 燃煤烟气碳捕集装置运行规范

BS ISO 27917 二氧化碳收集、运输和地质储存 术语

3 术语和定义

GB/T 51316-2018、JB/T 12909-2016 和 BS ISO 27917 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低压 low pressure

气源压力小于等于 100kPag 定义为低压。

3.1

低浓度 Low concentration

气源中 CO₂ 体积分数小于等于 40% 定义为低浓度。

3.3

吸收剂 absorbent

用于吸收低压低浓度 CO₂ 的碱性溶液，主要包括有机胺、氨水及碳酸钾等。

3.4

吸附剂 adsorbent

用于吸附低压低浓度 CO₂ 的固态物质，主要包括活性炭、分子筛、金属有机骨架（MOFs）等多孔材料；钙基、钾基、钠基及镁基等高温/中温吸附材料以及有机/无机复合吸附材料等。

3.5

催化剂 catalyst

提高 CO₂ 吸收/吸附过程反应速率或降低 CO₂ 解吸过程反应所需要的活化能的固体物质。分为固体酸催化剂和固体碱催化剂。

3.6

CO₂ 捕集率 **CO₂ capture efficiency**

吸收（吸附）塔/吸收（吸附）反应器入口气和出口气中 CO₂ 总量的差值，与塔/反应器入口气中 CO₂ 总量的百分比。CO₂ 总量可以是摩尔量或质量。

3.7

再生能耗 **regeneration energy consumption**

解吸塔/解吸反应器分离出 CO₂ 的过程中，消耗的蒸汽或电量所折算的热值。

4 技术工艺包内容

4.1 设计基础

4.1.1 项目背景

应说明项目来源、与业主及相关单位的关系及与前端主体装置的关系。

4.1.2 设计依据

应说明依据的合同、批文、技术文件、委托和会议纪要等。要给出文件名称、编号和发出单位。主要包括：

- a) 项目建议书或可行性研究报告的批文；
- b) 技术转让或引进合同；
- c) 科技成果登记证书；
- d) 技术鉴定证书；
- e) 设计基础（含当地的地质及自然条件）；
- f) 相关会议纪要；
- g) 其它依据的重要文件。

4.1.3 技术来源

应说明 CO₂ 捕集技术使用的专利、专有技术、软件著作权及其他知识产权的提供者。说明工艺技术使用、授权的限制及其他要求。

4.1.4 设计范围

应说明工艺技术包所涉及的范围、界面的划分。

4.1.5 工程规模及组成

4.1.5.1 用 CO₂ 的捕集提纯量表示工程规模。应说明规模所依据的年操作小时数、气源处理量、捕集率与再生能耗。

4.1.5.2 再生能耗计算方法应符合 GB/T 51316 的规定。

4.1.5.3 如果捕集提纯的 CO₂ 经化学、化工、生物等过程转化为其他产品、副产品，应说明各产品、副产品的产率、转化率与产量。

4.1.6 原料气、产品、副产品的规格

应说明原料气组成、杂质含量、温度及压力等所有应指定的参数。如果不同工况原料气组成发生变化，应分别列出。

应分别说明产品、副产品的规格以及所依据的标准。

4.1.7 吸收剂/吸附剂的规格

4.1.7.1 应分别列出吸收剂、催化剂及相关化学品的型号、化学品组成（非涉密情况下）、有效成分比例、配制浓度、吸收负载与解吸负载（连续运行工况下）、吸收反应热、密度、粘度、饱和蒸气压、热容等所有必须确定的理化性质和参数。如果是可以直接购买的化学品，应列出其商品名、产品标准号。

4.1.7.2 应分别列出吸附剂的形状、粒度、组成、堆积密度、抗压强度、吸附容量、选择性、脱附条件、脱附率、预期寿命等所有必须确定的理化性质和参数。如果是可以直接购买的材料或化学品，应列出其商品名、产品标准号。

4.1.8 公用物料和耗能规格

公用物料和耗能规格应列出 CO₂ 捕集过程用到的水、蒸汽、电、仪表风、燃油、燃气和制冷剂等的规格。主要应包括：

- a) 循环水：温度（入口/出口）、压力（入口/出口）、典型指标（如污垢系数等）；
- b) 新鲜水、软化水、除盐水：温度与压力；
- c) 蒸汽：温度、压力；
- d) 仪表风：温度、压力、露点及含油要求；
- e) 燃料油（燃料气）：温度、压力、热值及组成；
- f) 电：供电电压、频率、相/接线方式；
- g) 制冷剂：压力、温度、种类、成分及物性。

4.1.9 性能指标

应分别列出相关性能指标，如产品产量、转化率、产品质量、消耗指标、CO₂ 捕集率和再生能耗等。

4.1.10 采用的标准规范

采用的标准规范应列出工艺技术包执行的主要标准、规范名称和标准编号。

4.2 工艺说明

4.2.1 工艺原理

工艺原理应说明 CO₂ 捕集过程的物理、化学吸收/吸附原理及特点，列出主要反应方程式。不能用反应方程式表示的复杂的、多步骤过程可以用框图表示相互关系，并分别说明各部分原理。

4.2.2 主要工艺操作条件

主要工艺操作条件应说明 CO₂ 捕集过程的主要操作条件：温度、压力、进气量、循环量、物料配比、解吸气量等。应分别给出不同工况的条件。

4.2.3 工艺流程说明

按 CO₂ 捕集工艺顺序, 应说明物料通过工艺设备的过程以及分离或生成物料的去向。

说明工艺过程中主要工艺控制要求, 应包括流量控制、温度控制、液位控制、压力控制以及紧急停车的控制原则。

4.2.4 工艺物料流程图 (PFD)

4.2.4.1 工艺物料流程图应表示:

- a) 工艺设备及其位号、名称及其规格尺寸;
- b) 主要工艺管道及规格尺寸;
- c) 物流的编号、操作条件(温度、压力及流量);
- d) 换热器的热负荷;
- e) 泵的扬程、流量; 压缩机的流量与增压值;
- f) 引风机的流量、风压;
- g) 公用物料的名称、操作条件及流量;
- h) 主要测量与联锁控制点。

4.2.4.2 PFD 深度要求应符合 GB/T 50933 的规定。

4.2.5 物流数据表

4.2.5.1 物流数据表应列出主要物流数据, 包括每股物流的起止点、相态、组成、总流量、气相流量、液相流量、温度、压力、分子量、气相密度、液相密度、气相粘度、液相粘度、气相热焓和液相热焓等。

4.2.5.2 物流数据表应给出不同工况的数据。

4.3 物料平衡

物料平衡表形式应列出 CO₂ 捕集工程过程中, 各种物料的名称、组成、分子式、相态、密度、粘度、比热、压力、温度、组成、流率和焓值。

一些对于工艺过程的操作或产品质量影响较大的物料应分别给出该物料的平衡, 如 CO₂ 平衡、水平衡以及吸收剂/吸附剂平衡, 可以物料平衡表或物料平衡图的形式表示。

4.4 消耗量

4.4.1 原料消耗量

原料气的小时消耗量与年消耗量, 如果有多种原料气, 应分别列出。

4.4.2 吸收剂/吸附剂及相关化学品消耗量

吸收剂/吸附剂/催化剂及相关化学品的名称、小时消耗量、年消耗量与每吨 CO₂ 耗量。

应由技术方提供的专有吸收剂/吸附剂/催化剂要加以注明。

4.4.3 公用物料及能量消耗

公用物料及能量消耗应分别列出水、电、蒸汽和仪表风等正常操作和最大消耗量:

- a) 水量: 包括循环冷却水补充量、循环热水、新鲜水、软化水、除盐水等的温度、压力与流量;
- b) 电量: 包括电压与对应的功率值;
- c) 蒸汽量: 蒸汽压力、温度、用量及冷凝水量;

d) 燃料量：包括燃料油、燃料气热值及用量；

e) 仪表风：压力、温度及用量。

4.5 界区条件表

界区条件表列出应包括原料气、吸收剂/吸附剂、产品、副产品、化学品和公用物料等所有物料进出界区的条件，包括状态、温度、压力(进出界区处)、流向、流量和运输方式等。管道运输的物料应标明设计流速、公称直径、材料材质和防腐形式等。

4.6 卫生、安全、环保说明

4.6.1 装置中危险物料性质及特殊的储运要求

应列出 CO₂ 捕集工程中影响人体健康和安全的物料（包括吸收剂/吸附剂/催化剂及 CO₂ 等）的性质，如比重或密度、闪点、爆炸极限、自燃点、阈值、毒性危害程度分级、腐蚀性、物质热稳定性和化学稳定性（如受热是否分解、暴露于空气中或被撞击时是否稳定）。如果有特殊的储运要求(或处理要求)也应提出。

4.6.2 卫生、安全、环保要点说明

根据工艺特点，应提出有关卫生、安全、环保的关键点，如安全操作范围及偏离正常工况后果，建议的主要防护措施以及对安全仪表系统的原则要求。

4.6.3 主要污染源及污染物排放说明

CO₂ 捕集项目污染源应包括废液、废气、固废及噪声。废液、废气及固废需要列出名称、来源、排放量、成分、浓度、特性（间歇/连续、排放频率及排放周期）和排放去向建议。噪声应列出噪声源、动力设备名称、数量、噪声源声级数以及操作室声级数。

4.6.4 污染源防治措施

污染源防治措施应列出废液、废气、固废及噪声防治措施及遵守的国家/行业标准规范。

4.7 分析化验项目表

分析化验项目表列出应为保证操作需要和产品质量要求需要分析的物料名称、分析项目、分析频率（开车/正常运行）、分析方法与指标。吸收法主要分析物料包括烟气、再生气、贫液和富液；吸附法主要分析物料包括烟气、再生气、吸附后吸附剂和解吸后吸附剂。

4.8 工艺管道及仪表流程图（PID）

工艺管道及仪表流程图 PID 中的工艺应表示：

a) 设备及其位号、名称、规格型式、处理量、设计温度、工作温度、设计压力和工作压力等；

b) 主要管道（包括主要工艺管道、开停车管道、安全泄放系统管道、公用物料管道）公称直径、内部介质、管道材质，特殊管道的材料等级和特殊要求；

c) 阀门的公称直径、类型和材质；

d) 安全泄放设施；保温/保冷/伴热；主要控制与联锁回路等。

4.9 材料等级表

表明管道、管配件及阀门的材料、规格及标准的要求，其中阀门的材料是指阀体的材料，具体的阀内件参见相关的阀门数据表。材料等级表主要应包括规范性引用文件、材料等级说明、管壁厚度计算方法、管道、管件和阀门要求，以及项目材料等级表。

4.10 建议的设备布置图及说明

给出主要工艺设备相对关系和建议的平面布置，应说明特殊要求和必须符合的规定。如果有工艺平台，应表示出每一层平台上布置的设备。

4.11 工艺设备表

工艺设备表应列出 PID 中设备的位号、名称、台数(操作/备用)、设备操作参数(如操作温度、操作压力等)、技术规格和材质等。专利设备和专有设备应注明。

4.12 工艺设备

4.12.1 工艺设备说明

应说明 PID 中的工艺设备特点、选型原则、材料选择的要求。

4.12.2 工艺设备数据表

对 PID 中的工艺设备按容器(含塔器、反应器、槽、罐)、换热器和机泵等分类逐台列表。对于主要静设备应附简图，主要包括以下内容：

a) 容器：位号、名称、数量、介质物性、操作条件(温度、压力等)、工艺设计条件、规格尺寸、主要接口规格和管口表、内件主要型式与规格、正常和最高/最低液位、主要部件的材质及腐蚀裕量、关键的设计要求及与工艺有关的应说明的内容；

b) 换热器：位号、名称、数量、介质物性、热负荷、冷热介质操作条件(进出口温度、压力、流量等)、允许压降、设计条件、形式、传热面积、传热系数、材质、腐蚀裕量和串并联要求；

c) 工业炉：位号、名称、数量、介质物性、热负荷、燃料组成、操作条件(温度、压力、流量等)、允许压降、设计条件、形式、传热面积、主要部件的材质和腐蚀余量；

d) 动力设备：位号、名称、数量、介质物性、电压、轴功率(热负荷)、操作条件(温度、压力、流量等)、设计条件、形式、壳体及内件材料规格、驱动形式和变频要求。

4.13 自控仪表

4.13.1 自控仪表数据表

自控仪表数据主要应包括温度、压力、流量、液位和 pH 等自控仪表，依据 PID 详细列具，主要包括以下内容：

a) 温度仪表：位号、仪表用途、介质名称、温度(正常、最大、最小)、压力、作用类型(分为指示、记录、累计、调节、遥控)和监控方式(分为集中、就地、就地与集中)；

b) 压力仪表：位号、仪表用途、介质名称、温度、压力(正常、最大、最小)、作用类型(分为指示、记录、累计、调节、遥控)和监控方式(分为集中、就地、就地与集中)；

c) 流量仪表：位号、仪表用途、介质名称、温度、压力、流量(正常、最大、最小)、作用类型(分为指示、记录、累计、调节、遥控)和监控方式(分为集中、就地、就地与集中)；

d) 液位仪表：位号、仪表用途、介质名称、温度、压力、液面(正常、最大、最小)、作用类型

(分为指示、记录、累计、调节、遥控)和监控方式(分为集中、就地、就地与集中);

e) pH 分析仪表: 位号、仪表用途、介质名称、温度、压力、pH 值(正常、最大、最小)、作用类型(分为指示、记录、累计、调节、遥控)和监控方式(分为集中、就地、就地与集中)。

4.13.2 主要控制回路说明

主要控制回路说明应列出 PID 中的控制回路的编号、名称, 详细说明控制关系。

4.13.3 主要联锁说明

主要联锁说明应列出 PID 中的联锁逻辑关系。

4.14 特殊管道

4.14.1 特殊管道材料等级规定

CO₂ 捕集工程中用到的特殊管道的材料等级及相应配件的要求, 如大尺寸烟气管道、洗涤水管道。不包括一般的、公用物料的管道。

4.14.2 特殊管道等级索引表

特殊管道等级索引表应包括项目一般为: 材料等级、公称直径, 公称压力、操作压力、操作温度、介质名称、介质状态、材质、管材选型、管道号、PID 图号与管道起止点等。

4.14.3 特殊管道附件数据表

如果有特殊管道附件, 要逐个提出工艺和机械等要求, 宜附图。

4.14.4 主要安全泄放设施数据表

CO₂ 捕集工程主要安全泄放设施, 应包括胺回收加热器、再生塔、过滤器、压缩机入口缓冲罐、压缩机、干燥设备、液化设备(如果有)与储罐(如果有)等。针对每个具体的泄放设备需要列出安全阀、爆破片、呼吸阀等位号、定压、泄放介质、物性参数及泄放量等。

4.15 有关专利和专有技术文件目录

有关专利和专有技术文件目录应列出工艺技术包提供方相关专利名称、专利号、授权国家、有效期及专有技术名称。

4.16 专有设备和专利技术

专有设备和专利技术应列出工艺技术包采用的或推荐的第三方相关的专有设备和专利, 并列出于有设备及专利推荐供货商。

5 工艺手册内容

5.1 工艺说明

5.1.1 工艺特点

工艺特点应说明 CO₂ 捕集工艺过程的技术原理与特点、优势。

5.1.2 工艺流程说明

应说明 CO₂ 捕集各环节工艺流程。

5.1.3 操作变量分析

操作变量指与产品量、捕集率、能耗、损耗直接相关的物料, 应主要包括气源量、气源 CO₂ 浓度、

循环量、吸收剂浓度/吸附剂粒径与蒸汽量等。分析操作变量变化对产品量、捕集率、能耗及损耗带来的影响。

5.2 正常操作控制

5.2.1 按工艺控制说明 CO₂ 捕集工程正常操作步骤和方法，应包括：系统水平衡控制、温度控制、压力控制、循环量控制、液位控制及 pH 控制。

5.2.2 吸收法 CO₂ 捕集工程应符合 JB/T 12536 的规定。

5.3 开车准备工作

5.3.1 开车准备工作应包括开车方案申报和批准、单机调试、试压、试漏、清扫、吹扫、生产调度系统调试、分部分系统开车、化工原材料与润滑油（脂）准备、技术资料准备、人员培训、化验分析准备、现场保卫准备和生活后勤服务准备。

5.3.2 技术资料应包括生产技术资料与综合技术资料。生产技术资料应包括工艺物料流程图、PID、岗位操作规程、事故处理预案(包括关键生产装置和重点生产岗位)、分析化验规程及记录表格、检修规程、设备运行记录表格和电气运行规程等技术资料。综合性技术资料应包括 CO₂ 捕集装置介绍、原材料手册、物料平衡手册、产品质量手册、润滑油(脂)手册、“三废”排放手册、设备手册、阀门及垫片一览表、轴承一览表及备品备件手册等。

5.4 开车程序

5.4.1 开车程序应说明开车原则、开车标准和主要开车步骤。

5.4.2 开车共分为三个阶段：CO₂ 捕集工程清洗及联合调试阶段、系统联动开车阶段与装置运行保运阶段。

5.4.3 吸收法 CO₂ 捕集工程应符合 JB/T 12535 的规定。

5.5 正常停车程序

5.5.1 正常停车程序应说明停车原则和主要停车步骤。

5.5.2 停车应分为正常停车与紧急停车两种情况。在生产过程中，如遇突然停电、停水、停气与设备故障等意外情况，应作紧急停车处理。

5.6 事故原因与处理方法

事故原因与处理方法应说明在事故情况下采取的处理方法与紧急措施，并分析造成的原因。典型事故应包括 CO₂ 产量低、吸收塔带液、贫液负荷高（碳化度高）、有机胺含量降低、再生塔液位快速下降、贫液泵抽空、富液泵抽空及气体泄漏等。

5.7 原料、化学品及催化剂装卸

原料、化学品及催化剂装卸应说明吸收剂/吸附剂、氢氧化钠、催化剂等装填、补充、卸载的步骤、操作要点与注意事项。

5.8 采样

采样应说明气体样、液样、固体样采样地点、正常操作时的频率、采样仪器装置与采样方法等。

5.9 设备检查与维护

设备检查与维护应说明 CO₂ 捕集工程中专利设备或专有设备的检查与维护方法。

6 分析化验手册

6.1 对原料气、吸收剂/吸附剂、产品、中间产品、公用工程物料（蒸汽、水和仪表风）、排气、排液、固废、催化剂与化学品等，应按照工艺技术包提供方指定的方法，采用特定的仪器进行分析化验，工艺技术包提供方应编制分析化验手册。

6.2 分析化验手册主要应包括化验的物料、分析化验方法、采用的标准规范、使用的仪器设备、操作方法、精度要求等。分析化验手册应包含吸收剂/吸附剂使用、回收及损耗说明。

7 安全与环保手册

7.1 工艺危险因素分析及控制措施

分析项目建设与运行过程涉及到的危险化学品特性，说明 CO₂ 捕集装置中易燃易爆、有毒有害物料的安全和卫生控制指标。分析操作中可能发生的危险，应提出相应的防护措施与安全设施。对 CO₂ 捕集工程，工艺危险主要应包括高浓度二氧化碳中毒、管道与容器爆裂、电气火灾、碱液灼伤、噪声危害、高温烫伤、低温冻伤、坠落及机械伤害等。

表 1 危险化学品数据表

序号	物料名称	危险化学品分类	相态	密度	沸点℃	闪点℃	自燃点℃	职业接触限值	毒性等级	爆炸极限 v%	火灾危险性分类	危害特性
1												
2												

7.2 自然灾害、社会危害因素分析

分析自然灾害因素、气象灾害因素、地方病危害因素、社会危害因素，提出相应的治理措施。

7.3 危险源划分与应急救援预案

说明危险源和有害因素存在的主要作业场所，明确装置或单元的火灾危险性分类和爆炸危险区域，划分重大危险源等级，编制应急救援预案。

7.4 安全泄放系统说明

当发生突然事故或停车检修，应泄压或吹扫的设备包括吸收剂/吸附剂回收加热器、再生塔、压缩机入口缓冲罐、压缩机、干燥设备、液化设备（如果有）和储罐（如果有）等。泄放数据表应包括泄放设备名称、泄放温度、泄放压力和泄放介质。

7.5 环境保护

环境保护应说明正常运行、事故状况和检修时的废气、废液及固废污染源，从工艺角度提出减少污染的控制方法。环境保护应包括项目施工期间与建设期间环境管理及环境监督。

附录 A

(规范性)

CO₂捕集能耗计算方法CO₂捕集能耗应按下列公式进行计算:

$$E_z = E_r + \frac{E_e + E_w}{m_{CO_2}} \quad (\text{A.1})$$

$$E_r = \frac{Q_m \times H_v}{m_{CO_2}} \quad (\text{A.2})$$

式中: E_z ——每吨 CO₂ 捕集能耗 (GJ/t); E_r ——每吨 CO₂ 再生能耗 (GJ/t); E_e ——每小时捕集装置运行所需要的电能 (GJ/h), 用电设备分别计算并加和得到的电功率, 采用 GB/T 50441 进行能耗折算; E_w ——每小时捕集装置运行所需要的水耗 (GJ/h), 需根据循环水量采用 GB/T 50441 进行能耗折算; Q_m ——每小时的蒸汽使用量 (t/h); H_v ——蒸汽在实际工况下的潜热值 (由蒸汽焓值减去凝结水焓值得到, 一定温度、压力下的焓值可查询化工数据手册) (GJ/t); m_{CO_2} ——每小时 CO₂ 产量 (t/h)。

能耗应按一次能源消耗计算, 能耗单位宜采用千克 (kg) 标准油, 1 千克标准油的低发热量为 41.868 MJ。

表 A.1 电、水及耗能工质的统一能源折算值

序号	类别	单位	能源折算值	备注
1	电	kWh	0.22	-
2	标准油	t	1000	-
	①			
3	新鲜水	t	0.15	-
4	循环水	t	0.06	
5	软化水	t	0.20	-
6	除盐水	t	1.0	-

7	氮气	m ³ ②	0.15	
---	----	------------------	------	--

注：①燃料按其低发热量折算成标准油；

②0℃和0.101325 MPa 状态下的体积。本标准中涉及的气体剂量单位（m³）均为该状态下的体积。

算例说明：

某 15 万吨/年烟气 CO₂ 捕集工程设计正常运行时公用工程消耗如下表所示：

表 A.2 15 万吨/年烟气 CO₂ 捕集工程公用工程设计消耗

电	kWh/tCO ₂	≤95	连续（正常运行）
蒸汽（0.3MPag）	t/tCO ₂	1.12	连续（正常运行）
循环冷却水	t/tCO ₂	1.5	补水量
除盐水	t/h	4.5	补水、补液与节能系统用水
蒸汽凝结水（0.3MPag）	t/h	1.12	连续（正常运行）

查询《化学化工物性数据手册》，可知蒸汽（0.3MPag）热焓值为 2738.06MJ/t，凝结水（0.3MPag）热焓值为 604.72 MJ/t，计算可知蒸汽（0.3MPag）潜热值为：2133.34 MJ/t。

依据计算公式与表 A.1，捕集提纯每吨 CO₂ 有：

$$E_r = 2133.34 \times 1.12 \div 1000 \text{GJ/tCO}_2 = 2.389 \text{GJ/tCO}_2$$

$$E_e = 0.22 \times 95 \times 41.868 \div 1000 \text{GJ/tCO}_2 = 0.875 \text{GJ/tCO}_2$$

$$E_w = 1.0 \times 4.5 \times 41.868 \div 1000 \text{GJ/tCO}_2 = 0.188 \text{GJ/tCO}_2$$

$$E_z = E_r + E_e + E_w = 3.45 \text{GJ/tCO}_2$$

附录 B

(资料性)

对典型吸收 CO₂ 捕集工艺流程与吸附 CO₂ 捕集工艺流程进行说明。

B.1 吸收法 CO₂ 捕集典型工艺流程

吸收工艺流程主要由烟气预处理、吸收、再生与溶液净化四个工段组成。

B.1.1 烟气预处理工段：

烟气来自外界的烟气从深度净化塔下部进入塔内，与从塔顶喷淋而下的水逆流接触，进行传质传热，烟气中的 SO₂ 被洗去，同时温度降至 40℃。除去 SO₂ 的 40℃ 烟气从塔顶流出，经气水分离器进行气液分离。从分离器顶部出来冷却后烟气经风机加压入吸收塔。深度净化塔下部的洗涤水经深度净化塔泵加压，送入凉水塔，冷却至 40℃ 以下，进入深度净化塔进行循环操作。为了保证脱硫效果，洗涤水呈碱性，洗涤后的水部分建议从深度净化塔泵出口排出，在生产厂区合适的工段进行回用。

B.1.2 吸收工段：

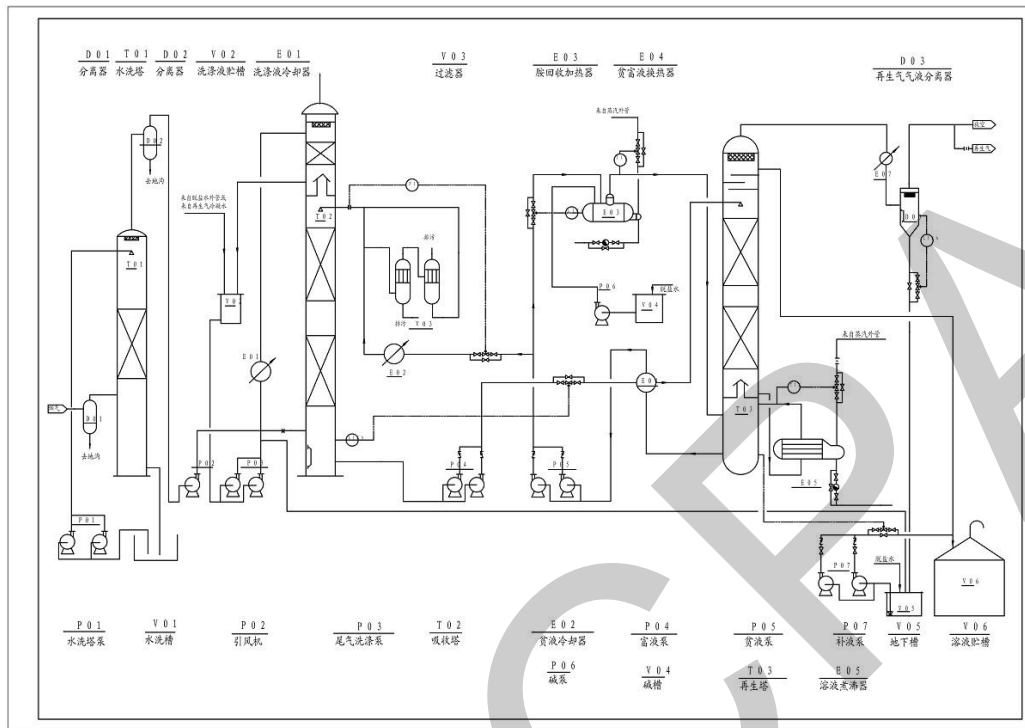
来自分离器的烟气经过引风机升压后，从吸收塔下部进入吸收塔，与从吸收塔上部的贫液逆流接触，烟气中的 CO₂ 被溶液吸收，吸收 CO₂ 的烟气中夹带有胺，再通过吸收塔上部的洗涤段、干床段以及物理除胺措施（电场、超声、急冷等）将胺及气溶胶脱除下来，尾气从塔顶排入厂区烟囱。洗涤胺后的洗涤水从吸收塔洗涤段下部流入洗涤液贮槽，再通过尾气洗涤泵加压，进入洗涤液冷却器，冷却至 40℃ 进入吸收塔顶部再进行洗涤。如此循环操作，定期将洗涤水从吸收塔洗涤段溢流至吸收塔作为补充水。洗涤水的补充可以通过补液泵补充的再生气分离器分离的水或者直接补充除盐水。富液经过富液泵加压进入贫富液换热器，与来自再生塔再生后的贫液进行换热，回收热量后温度升高，从再生塔上部入再生塔。

B.1.3 再生工段：

富液与再生塔自下而上的水蒸汽、CO₂ 进行换热，再生出 CO₂，然后进入溶液煮沸器进一步加热解吸出 CO₂，贫液从再生塔底部流出。从再生塔底部流出的贫液经贫富液换热器以及 MVR、吸收式热泵等节能设备回收热量后，经贫液冷却器冷却至 40℃ 左右进入吸收塔，构成连续吸收解吸循环。再生塔顶流出的水蒸汽、CO₂ 经过再生气冷却器冷却后，气水混合物进入再生气气液分离器进行气水分离，气相作为产品气送入后续压缩干燥流程。

B.1.4 溶液净化工段：

溶液长期使用后，10% 左右通过过滤器过滤，除去溶液中杂质；积累的杂质除了通过过滤器过滤外，还可以通过胺回收加热器进行胺液蒸馏。贫液由贫液泵连续加入胺回收加热器，控制胺回收加热器液位，通过蒸汽加热，将胺、水蒸馏至再生塔。最终蒸馏杂质作为废液排放。

图 B.1 化学吸收法 CO₂ 捕集工艺流程图

B.2 吸附法 CO₂ 捕集典型工艺流程

吸附工艺流程主要由 CO₂ 吸附、吸附剂再生及吸附剂冷却三个工段组成。

B.2.1 CO₂ 吸附工段：模拟烟道气（15%CO₂，15%水蒸汽，其余为空气）经烟气压缩机与来自冷却吸附剂储罐的吸附剂进入吸附流化床提升管进行 CO₂ 吸附，经模拟烟气携带将吸附 CO₂ 的吸附剂与模拟烟道气进入一同进入吸附移动床下降管，在吸附移动床内进一步吸附饱和 CO₂，此时由于气速减小，大部分吸附剂沿折流板向下流动，进入吸附剂储罐。从吸附移动床上段出口的低浓度 CO₂ 烟气经旋风分离器进行气固分离，分离出的吸附剂进入吸附流化移动床下降管内，沿折流板向下流动，进吸附剂储罐；清洁空气经布袋除尘器以及水除尘装置进一步除去吸附剂粉末后进行排空，水除尘装置回收的粉未经自然蒸发后回收利用。

B.2.2 吸附剂再生工段：吸附剂储罐内的吸附剂与高温蒸汽一起进入再生流化床提升管内，充分接触后进入再生移动床，在再生移动床的扩大段，气速减小，吸附剂沿折流板向下流动，进入再生剂储罐；从再生移动床下降管出口的高浓度 CO₂ 和水蒸汽经再生旋风分离器进行气固分离，分离出的吸附剂进入再生流化移动床下降管内，沿折流板向下流动，进再生剂储罐。来自再生旋风分离器分离出的高温 CO₂ 经布袋除尘器和水除尘装置进一步除去吸附剂粉末后，进入再生流化床提升管的提升管夹层内作为再生吸附剂预热热源，换热后气体进入再生吸附剂储罐与高温吸附剂进行换热后经再生压缩机进入 CO₂ 冷却器，将水蒸汽冷凝下来，得到高纯度的 CO₂ 进入 CO₂ 储罐，蒸汽冷凝液返回蒸汽发生器循环利用。

B.2.3 吸附剂冷却工段：

来自再生剂储罐的吸附剂与来自冷却压缩机的空气一起进入冷却流化床提升管内，充分接触后进入冷却流化床下降管，在冷却移动床的扩大段，车速减小，吸附剂沿折流板向下流动，进入冷却吸附剂储罐；从冷却移动床下降管出口的携带吸附剂的空气经冷却旋风分离器进行气固分离，分离出的吸附剂进冷却移动床下降管，沿折流板向下流动，进冷却吸附剂储罐。来自冷却旋风分离器分离出的空气经布袋除尘器和水除尘装置进一步除去吸附剂粉末后排空，水除尘装置回收的粉未经自然蒸发后回收利用。

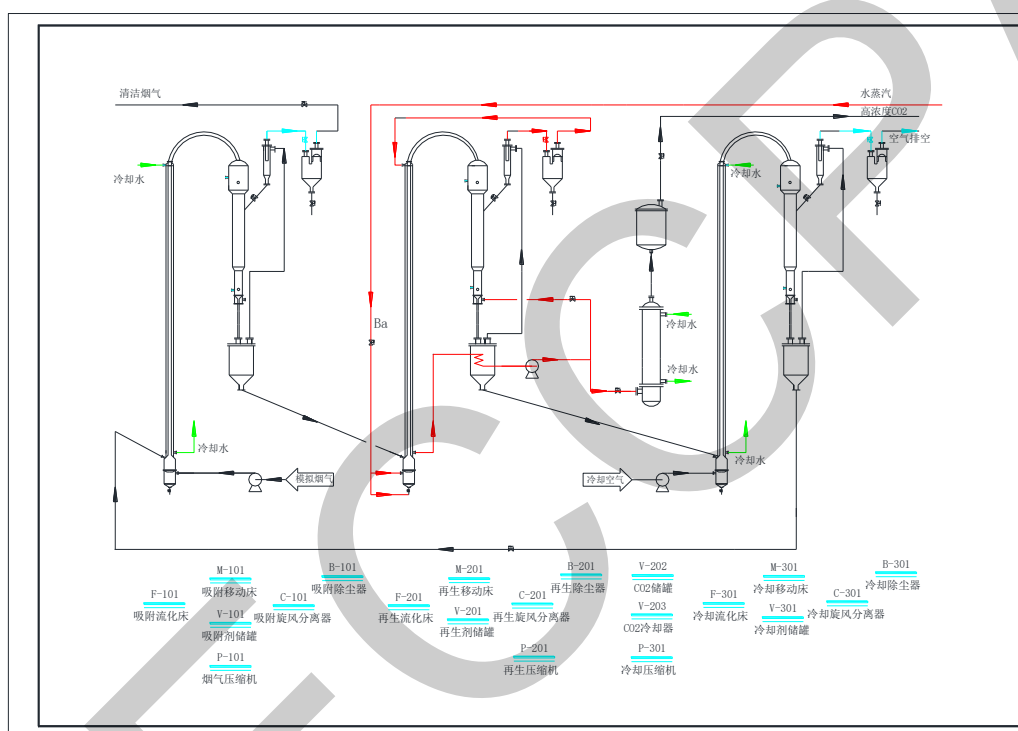


图 B.2 循环流化移动床 CO₂ 吸附法工艺流程图